

水耕ホウレンソウの生育ならびに葉内シュウ酸及び硝酸濃度に対する K 及び Ca の影響

伊達修一・田中淳夫*・坂本泰子・並木隆和

SHUICHI DATE, ATSUO TANAKA*, YASUKO SAKAMOTO and TAKAKAZU NAMIKI

Effects of K and Ca on growth and oxalate and nitrate concentrations in water-cultured spinach

要旨： ホウレンソウを K 及び Ca 濃度の異なる培養液で水耕栽培し、葉内シュウ酸濃度、葉内硝酸濃度、葉内無機成分濃度を測定した。K 及び Ca の増施により、葉内シュウ酸濃度が減少し、葉内硝酸濃度が増加した。一方、K 及び Ca の増施により、葉内 Mg 濃度が低下した。K の増施により葉内 Ca 濃度が、Ca の増施により葉内 K 濃度が減少した。葉内 Mg 濃度と葉内シュウ酸濃度との間に正の相関、葉内硝酸濃度との間に負の相関がみられた。K、Ca 及び Mg の吸収の間に拮抗関係がみられ、そのバランスで、葉内硝酸濃度及び葉内シュウ酸濃度が変化するものと思われた。葉内シュウ酸濃度と葉内硝酸濃度との間に負の相関がみられ、培養液中の K 及び Ca の組成を変化させて、葉内シュウ酸ならびに硝酸濃度を同時に低下させることは困難であると思われた。

緒 言

ホウレンソウはビタミン A ならびに C、カルシウムや鉄分等の濃度が高く、重要な緑黄色野菜として需要が高く、周年栽培されている。近年では、水耕栽培によりサラダ生食用の清浄軟弱野菜としての栽培も試みられている。したがって、ホウレンソウの用途に即した栽培技術の確立が求められている。一方、近年の消費者の健康嗜好により、外観的な品質のみならず、内容成分的な品質にも目が向けられ、高品質なホウレンソウを栽培する技術もまた求められている。

ホウレンソウは、他の野菜に比べてシュウ酸の濃度がきわめて高い野菜であることが知られている(中原, 1974)。シュウ酸は食味を損なうアクの一種であるばかりでなく、動物体内に摂取されると Ca

塩と結合し、腎臓結石などの尿路結石の原因になり、また Ca の吸収を阻害するともいわれている (Fincke ら, 1935)。生食用野菜に関しては硝酸の蓄積も近年問題になっている。硝酸は還元されて亜硝酸塩となり、さらに発ガン性を有するニトロソアミン化合物を生成する可能性が指摘されている (王子ら, 1984)。以上のことから、ホウレンソウのシュウ酸及び硝酸濃度を低くする栽培技術の確立が必要とされている。

ホウレンソウのシュウ酸濃度の研究については近年盛んになってきている。これまでに、施肥条件 (香川, 1988; 亀野ら, 1990; 刀裨ら, 1989b; 今西ら, 1990; 太田ら, 1989, 1990, 1992, 1994; 吉川ら, 1988b)、土壌水分含量 (香川, 1988; 刀裨ら, 1989a)、水ストレス (渡邊ら, 1987, 1988)、光条件 (香川, 1987)、生育段階 (Bengtsson ら, 1966; 亀野ら, 1990; 吉川ら, 1988a; 広岡ら, 1992)、品種 (香川,

京都府立大学農学部蔬菜園芸学研究室

Laboratory of Olericulture, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Kyoto, 606, Japan.

* 京都府木津農業改良普及所

平成 6 年 8 月 16 日受理

1987; 刀祢ら, 1989a; 亀野ら, 1990) などによりホウレンソウのシュウ酸濃度が変化することが報告されている。施肥条件についてはカチオンの影響についての報告が多くみられる。Bengtssonら(1966)は生育にともなう葉中の無機成分濃度及びシュウ酸濃度の変化を調査し, その結果いくつかのカチオンの濃度の和とシュウ酸濃度との間に高い正の相関があることを報告した。すなわち Ca+Mg と不溶性シュウ酸, K+Na と水溶性シュウ酸, K+Na+Ca+Mg と総シュウ酸に高い正の相関を見いだした。一方, 吉川ら(1988b)は窒素の減施, リン酸及びKの増施によりシュウ酸濃度が低下し, Mgの増施によりシュウ酸濃度が増加すると報告した。しかしこれに対し, 刀祢ら(1989b)はこれらの効果はないとするとともに, Ca及びMgの増施によりシュウ酸濃度が増加すると報告している。岩井ら(1985)はCaの増施により水溶性シュウ酸濃度が低下すると報告している。以上のことから, K及びCaが葉内シュウ酸濃度に及ぼす影響をさらに検討する必要があると思われる。

本研究では, ホウレンソウをK及びCa濃度の異なる培養液で水耕栽培し, 植物体の生育, 葉中のシュウ酸, 硝酸及び無機成分濃度の差異を調査した。

材料及び方法

ホウレンソウ (*Spinacia oleracea* L.) 品種 'トライ' を10月25日にセキスイ水耕栽培システム 'スイコーメイト' のポリウレタン製チップに1チップあたり12粒播種し, 相対湿度100%暗黒条件下で育苗した。11月4日に第1表に示した培養液10ℓをいれた容量15ℓのプラスチック製プランターに2チップ/プランターで定植した。各処理区2反復とした。定植後, 間引きにより1チップ当たり7個体とした。通気はエアポンプによる連続通気とした。培養液の補給は行わなかった。12月20日に全

個体を収穫した。チップ毎に地上部新鮮重を測定した後, 1反復については新鮮重25gを供試して, 中原(1974)の方法に従い, インドール比色法により総シュウ酸及び水溶性シュウ酸濃度を測定した。不溶性シュウ酸濃度は総シュウ酸濃度から水溶性シュウ酸濃度を減じたものとした。硝酸濃度はシュウ酸濃度を測定するとき作成する水抽出液を500倍に希釈した後, 分光光度計により210nmで吸光度を測定することによる紫外部吸光法で算出した。また残りの1反復の試料を供試して, 原子吸光法により葉中のCa, K及びMg濃度を測定した。

結 果

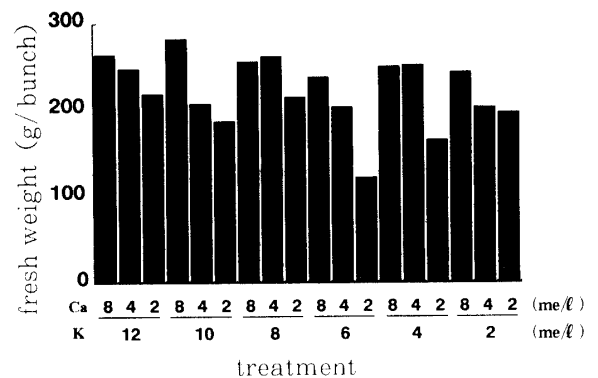


Fig. 1 Fresh weight of spinach plants cultured in the nutrient solution containing K and Ca at different concentrations.

植物体の新鮮重を第1図に示した。本実験ではチップ内における植物体の配置を調節しなかったため, チップ内の個体のばらつきが大きかった。そこで1チップ当たりの植物体の新鮮重を測定した。Caの増施により新鮮重が増加した。Kの増施の影響はみられなかった。

葉内シュウ酸濃度の測定結果を第2図に示した。

Table 1 Concentrations of elements in nutrient solution of each treatment

elements	K	treatment (me/ℓ)																	
		12			10			8			6			4			2		
	Ca	8	4	2	8	4	2	8	4	2	8	4	2	8	4	2	8	4	2
K		12	12	12	10	10	10	8	8	8	6	6	6	4	4	4	2	2	2
Ca		8	4	2	8	4	2	8	4	2	8	4	2	8	4	2	8	4	2
SO ₂		12	8	6	10	6	4	8	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4	4
Na		0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	4	0	4	6	2	6	8

All nutrient solution contain NO₃, 12; NH₄, 1.3; PO₄, 4; Mg, 4 in me/ℓ; Fe, 3; B, 0.5; Mn, 0.5; Zn, 0.05; Cu, 0.02; Mo, 0.01 in ppm.

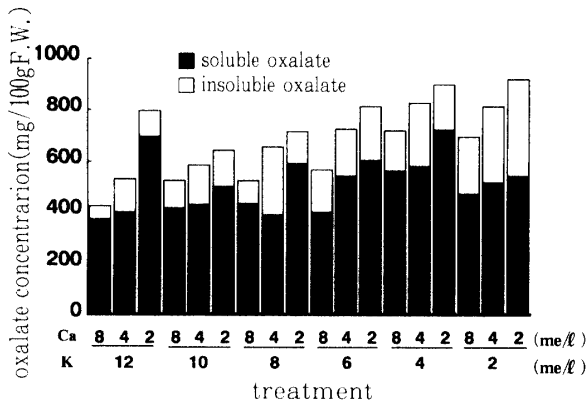


Fig. 2 Oxalate concentration in spinach leaves cultured in the nutrient solution containing K and Ca at different concentrations.

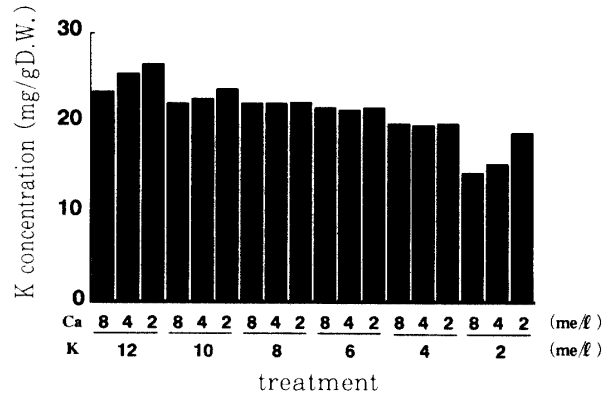


Fig. 5 K concentration in spinach leaves cultured in the nutrient solution containing K and Ca at different concentrations.

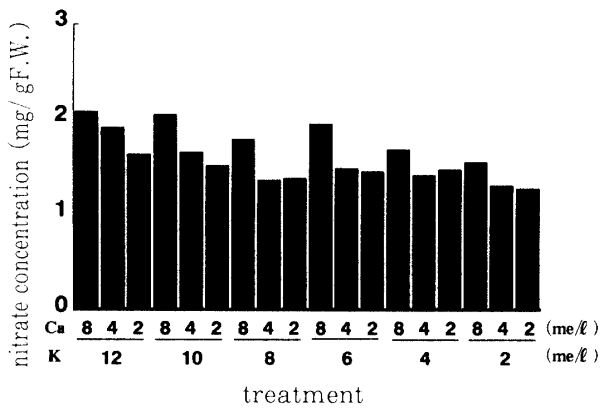


Fig. 3 Nitrate concentration in spinach leaves cultured in the nutrient solution containing K and Ca at different concentrations.

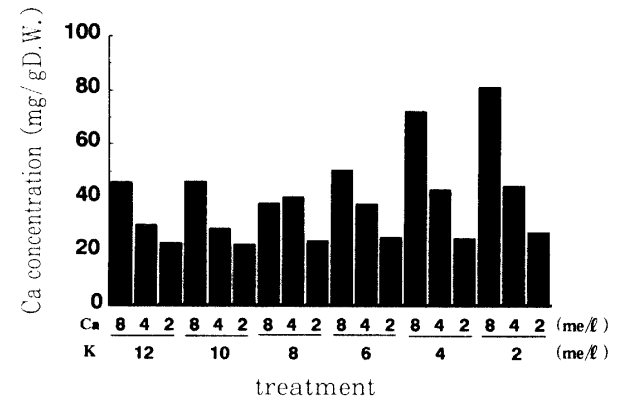


Fig. 6 Ca concentration in spinach leaves cultured in the nutrient solution containing Ca and K at different concentrations.

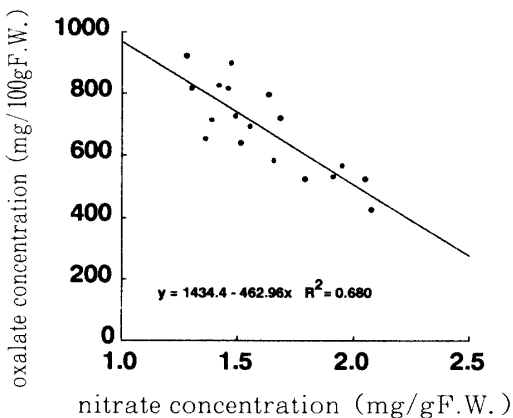


Fig. 4 Correlation between total oxalate and nitrate concentration in spinach leaves.

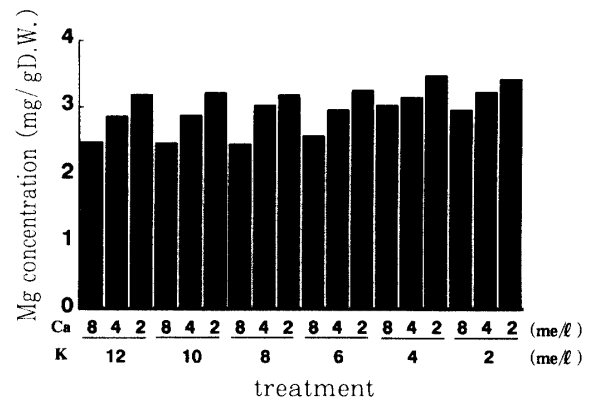


Fig. 7 Mg concentration in spinach leaves cultured in the nutrient solution containing Ca and K at different concentrations.

総シュウ酸及び水溶性シュウ酸濃度ともに Ca の増施により低下した。また 12 : 2 区で突出がみられたが、K の増施によっても総シュウ酸濃度が低下した。水溶性シュウ酸濃度については K の増施の影響は明確ではなかった。最も総シュウ酸濃度が高い区すなわち K : Ca が 2 : 2 区では 924mg / 100g F.W. であったのに対し、最も総シュウ酸濃度が低い区、すなわち 12 : 8 区では 425mg / 100g F.W. となり、2 : 2 区の半分以下の値となった。

葉内硝酸濃度の測定結果を第 3 図に示した。K 及び Ca の増施により葉内硝酸濃度が増加した。最も硝酸濃度が高い区、すなわち K : Ca が 12 : 8 区は最も低い区すなわち 2 : 2 区の 1.5 倍以上の値となった。葉内シュウ酸濃度と葉内硝酸濃度の関係を第 4 図に示した。葉内シュウ酸濃度と葉内硝酸濃度との間には負の相関がみられた。

葉内 K 濃度の測定結果を第 5 図に示した。K の増施により葉内 K 濃度が増加した。また Ca の増施により葉内 K 濃度が低下する傾向がみられた。

葉内 Ca 濃度の測定結果を第 6 図に示した。Ca の増施により葉内 Ca 濃度が増加し、増加の度合いは K 施与量が少ないほど大きくなった。また K の

増施により葉内 Ca 濃度が減少した。

葉内 Mg 濃度の測定結果を第 7 図に示した。Ca の増施により葉内 Mg 濃度が減少した。K の増施により葉内 Mg 濃度が減少する傾向がみられた。しかし、Ca の増施で見られた Mg 濃度の低下よりも小さい変動幅であった。

第 2 表に、各 Ca 施用濃度における K 施用濃度と各測定項目との相関係数の平均値、各 K 施用濃度における Ca 施用濃度と各測定項目との相関係数の平均値を示した。新鮮重、葉内硝酸ならびに K 濃度と K 施用濃度に正の相関、葉内シュウ酸、Ca ならびに Mg 濃度と Ca 施用濃度との間に負の相関がみられた。新鮮重、葉内硝酸ならびに Ca 濃度と Ca 施用濃度に正の相関、葉内シュウ酸、K ならびに Mg 濃度と Ca 施用濃度に負の相関がみられた。

第 3 表に、各 Ca 施用濃度における葉内 K 濃度と各測定項目との相関係数の平均値、各 K 施用濃度における葉内 Ca 濃度と各測定項目との相関係数の平均値を示した。葉内硝酸と葉内 K 濃度との間に正の相関、葉内シュウ酸 Ca ならびに Mg 濃度と葉内 K 濃度との間に負の相関がみられた。新鮮重及び葉内硝酸濃度と葉内 Ca 濃度との間に正の相関、

Table 2 Correlations between K and Ca concentrations in nutrient solution, and each measured index.

	F. W.	concentration in leaves				
		oxalate	nitrate	K	Ca	Mg
K concentration ^z in nutrient solution	0.471	-0.889	0.859	0.930	-0.880	-0.879
Ca concentration ^y in nutrient solution	0.873	-0.979	0.949	-0.624	0.940	-0.977

z; Values are means of R values at 2, 4 and 8 me/ℓ of Ca concentration in nutrient solution, respectively.

y; Values are means of R values at 2, 4, 6, 8, 10, 12 me/ℓ of K concentration in nutrient solution, respectively.

Table 3 Correlations between K and Ca concentrations in leaves, and each measured index.

	F. W.	concentration in leaves				
		oxalate	nitrate	K	Ca	Mg
K concentration ^z in leaves	0.425	-0.758	0.841	—	-0.835	-0.844
Ca concentration ^y in leaves	0.943	-0.916	0.826	-0.634	—	-0.909

z; Values are means of R values at 2, 4 and 8 me/ℓ of Ca concentration in nutrient solution, respectively.

y; Values are means of R values at 2, 4, 6, 8, 10, 12 me/ℓ of K concentration in nutrient solution, respectively.

Table 4 Correlations between Mg concentration in leaves, and oxalate and nitrate concentrations in leaves.

	F. W.	oxalate	nitrate
Mg concentration in leaves	-0.699	0.902	-0.851

Values are R values of all treatments

葉内シュウ酸, Ca ならびに Mg 濃度と葉内 Ca 濃度との間に負の相関がみられた。

第 4 表に全処理区における葉内 Mg 濃度と各測定項目の相関係数を示した。葉内シュウ酸濃度と葉内 Mg 濃度との間に正の相関, 新鮮重ならびに葉内硝酸濃度と葉内 Mg 濃度との間に負の相関がみられた。

考 察

本実験では施肥条件, 特に K 及び Ca に着目し, ホウレンソウの葉内シュウ酸及び硝酸濃度を低下させる方法を検討した。

K を増施することにより葉内シュウ酸濃度が低下したことは, 吉川ら (1988b) の報告と一致し, 刀祢ら (1989b) の報告とは一致しなかった。また Ca の増施により葉内シュウ酸濃度が低下したことは, 岩井ら (1985) の報告と一致し, 刀祢ら (1989b) の報告と一致しなかった。Ca の増施により葉内シュウ酸濃度が低下したことについては, 新鮮重も同時に増加していることから, いわゆる希釈効果が考えられる。生育後期における生長速度が大きい場合には, 葉内シュウ酸濃度が低いことが報告されている (刀祢ら, 1989a; 亀野ら, 1990)。しかし, 本実験では生育後期に生長速度を増加させる処理を特別行っていない。また葉内硝酸濃度は Ca 増施により逆に増加しており, ここに希釈効果はみられない。また他の無機成分濃度においても K の増施の場合と比較してみると, 葉内 K 及び Ca 濃度についての相関係数の正負が異なっているだけで, その他の葉内シュウ酸, 硝酸及び Mg 濃度については同様の傾向を示している。したがって, Ca の増施による葉内シュウ酸濃度の低下の原因には希釈効果があるとしても, 部分的であり, すべてをそこに結びつけるのは早計であろう。

葉内シュウ酸濃度の低下以外に K 及び Ca の増施により両者で共通してみられた現象は, 葉内硝酸濃度が増加したと葉内 Mg 濃度が低下したことである。K および Ca の増施により葉内シュウ酸濃度が低下したことが同じ機構で生じた現象であるとする

れば, この葉内硝酸濃度の増加あるいは葉内 Mg 濃度の低下が関係していることが考えられる。K 及び Ca の増施により葉内硝酸濃度が増加したことは, 硝酸還元が低下したことにより硝酸が蓄積したか, 窒素の吸収そのものが増加したためと考えられる。杉山ら (1992) はシュウ酸が硝酸還元反応して生成すると考察する一方, 全窒素と葉内全有機酸濃度との間に等量関係, すなわち高い正の相関が認められたと報告した。K 及び Ca の増施による硝酸濃度の増加が硝酸還元の低下によるものであるとすると, 同時にシュウ酸濃度も低下したことから杉山ら (1992) の報告と矛盾しないが, 窒素吸収そのものが増加した結果であるにとらえると逆に矛盾する。シュウ酸濃度と硝酸濃度には高い負の相関がみられ, シュウ酸生成に硝酸が何らかの役割を持つ可能性が考えられるが, この点については硝酸還元を中心とした窒素代謝とシュウ酸の生成についての詳細な検討が今後必要であろう。吉川ら (1988b) は葉内 Mg 濃度と葉内シュウ酸濃度との間に正の相関が存在することを報告し, 刀祢ら (1989b) も Mg 施与により葉内シュウ酸濃度が増加したと報告している。本実験においても, 葉内 Mg 濃度と葉内総シュウ酸濃度との間に高い正の相関が認められた。従って, Mg がシュウ酸生成にどのように作用しているかは不明であるが, カチオンにより葉内シュウ酸濃度が変化することは, 直接的には Mg を介して行われる可能性もある。すなわち K 及び Ca の増施によりこれらの吸収が増加し, それにともない Mg の吸収が拮抗阻害され, これが葉内シュウ酸濃度の低下をもたらしたとも考えられる。この点についても今後の検討が必要であると考えられる。

K の増施により, K の吸収が増加するとともに Ca 及び Mg の吸収が減少した (第 2 表)。また Ca の増施により, Ca の吸収が増加するとともに K 及び Mg の吸収が減少した。すなわち, K, Ca 及び Mg の吸収の間には拮抗関係が存在すると思われる。これらの内, K 及び Ca は葉内シュウ酸及び硝酸濃度に対する影響は同様で, それぞれの増施あるいは葉内濃度の増加により, 葉内シュウ酸濃度は低下し, 葉内硝酸濃度は増加した。Mg では葉内濃度の増加により, 葉内シュウ酸濃度が増加し, 葉内硝酸濃度が低下した。まとめると, K, Ca 及び Mg の吸収の拮抗関係, 葉内シュウ酸濃度及び葉内硝酸濃度の三者の間に何らかの関係があると思われる。このうち K, Ca 及び Mg の吸収の拮抗関係が, 直接シュウ酸濃度に影響を及ぼすのか, 硝酸濃度の変化を介して影響を及ぼすのかは本実験の結果からは明らかにはできない。しかし, 香川 (1987) は遮光により

シュウ酸濃度が低下する傾向を認めており、硝酸還元酵素活性が光条件により影響を受けることを考えれば、硝酸濃度の変化を介してシュウ酸濃度が変化する可能性が高いと思われる。また、香川（1988）、吉川ら（1988b）、今西ら（1990）太田ら（1989, 1990, 1992, 1994）も葉内シュウ酸濃度に対して、窒素が重要な役割を持つことを指摘しており、上述の経路が支持されると思われる。

以上のことから、K及びCaの増施により、ホウレンソウの葉内シュウ酸濃度を低下させることが可能であることが示唆された。しかし、逆に葉内硝酸濃度はK及びCaの増施により増加することから、培養液中のK及びCaの組成を変化させることにより、葉内シュウ酸及び硝酸濃度を同時に低下させることは困難であるように思われる。葉内Mg濃度と葉内シュウ酸濃度が正の相関をもち、葉内硝酸濃度と負の相関を持つことから、培養液中のMg濃度を変化させても同様に葉内シュウ酸ならびに硝酸濃度を同時に低下させることは困難であることが推察される。すなわち、培養液中のNH₄を除いた多量要素のカチオン組成を変化させることでは、葉内シュウ酸ならびに硝酸濃度を同時に低下させることは困難であろう。

引用文献

- 1) Bengtsson, B. L., I. Bosund und B. Hylmo. (1966): Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd., 115, 192-199.
- 2) Fincke, M. L. and H.C. Sherman. (1935): J. Biol. Chem., 110, 421-428.
- 3) 広岡幹也, 杉山信男 (1992): 園学雑. 61 (3), 575-579.
- 4) 今西三好, 五島 皓 (1990): 中国農研報., 7, 1-16.
- 5) 岩井 巖, 平田淑江, 福士道代 (1985) 岐阜女子大学家政学食物栄養卒論
香川 彰 (1993): 農業及び園芸., 68 (7), 797-803. より引用
- 6) 香川 彰 (1987): 岐阜女子大学紀要., 16, 25-32.
- 7) 香川 彰 (1988): 岐阜女子大学紀要., 17, 1-6.
- 8) 香川 彰 (1993): 農業及び園芸., 68(7), 797-803.
- 9) 亀野 貞, 木下隆雄, 楠原 操, 野口正樹 (1990): 中国農研報., 6, 157-178.
- 10) Kitchen, J. W., E. E. Burns and R. Langston. (1965): Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.,

85, 465-470

- 11) 中原経子 (1974): 栄養と食糧., 27(1), 33-38
- 12) 王子善清, 高 祖明, 脇内成昭, 岡本三郎, 河本正彦 (1984): 神大農研報., 16, 291-296.
- 13) 太田和子, 宇佐見久実, 尾形智子, 香川 彰 (1989): 園学雑., 58 別 2, 356-357.
- 14) 太田和子, 宇佐見久実, 尾形智子, 香川 彰 (1990): 園学雑., 59 別 1, 332-333.
- 15) 太田和子, 大田昌美, 大塚あゆみ, 香川 彰 (1992): 園学雑., 61 別 1, 338-339.
- 16) 太田和子, 杉浦明子, 多治見知子, 香川 彰 (1994): 園学雑., 63 別 1, 374-375.
- 17) 杉山信男, 広岡幹也 (1992): 園学雑., 61 (3), 569-574.
- 18) 刀祢茂弘, 内山善雄 (1989a): 山口農試研報., 41, 32-39.
- 19) 刀祢茂弘, 内山善雄 (1989b): 山口農試研報., 41, 40-45.
- 20) 渡邊幸雄, 米山昌美, 嶋田典司 (1987): 土肥誌., 58(4), 427-432.
- 21) 渡邊幸雄, 志和信一, 嶋田典司 (1988): 土肥誌., 59(6), 563-567.
- 22) 吉川年彦, 中川勝也, 小林 保, 時枝茂行, 永井耕介 (1988a): 近畿中国農研., 75, 71- 76.
- 23) 吉川年彦, 中川勝也, 小林 保, 時枝茂行, 永井耕介 (1988b): 近畿中国農研., 75, 77- 81.

Summary

Spinach was grown in nutrient solutions containing 2, 4, 6, 8, 10 and 12 me/l of K and 2, 4 and 8 of Ca, respectively. Growth and concentrations of oxalate, nitrate, K, Ca and Mg in leaves were determined. High concentrations of K and Ca in nutrient solution decreased concentrations of oxalate and Mg in leaves and increased nitrate concentration. Negative correlation between oxalate and Mg concentrations in leaves was found. Competitive relations among uptake of K, Ca and Mg were recognized. This competitive status probably affected concentrations of oxalate and nitrate in leaves. Negative correlation between concentrations of oxalate and nitrate in leaves were recognized. It was concluded difficult to decrease concentrations of both oxalate and nitrate in leaves by modification of K and Ca concentrations in nutrient solution.